

REALIDADES Y DESAFÍOS DE LA TRANSICION ENERGETICA

Cambio Climático

El sector energético ha sido fundamental para desarrollo de las sociedades modernas. Por tal motivo su crecimiento y evolución resulta estratégico para todos los países. Como el desarrollo energético se basó en la explotación de recursos naturales fósiles, como el carbón, el petróleo, el gas, el uso masivo de este tipo combustibles incrementó en forma significativa la emisión de los **Gases de Efecto invernadero (GEI)** los cuales dieron origen al fenómeno llamado Calentamiento Global, el cual es el principal factor de lo que se conoce como Cambio Climático. El principal GEI es **el dióxido de carbono, CO₂**, el cual es un producto normal de la quema de los combustibles fósiles.

Como el efecto nocivo de las emisiones de GEI ha alcanzado un nivel muy crítico sobre el calentamiento global, esta condición forzó a todos los países a replantear las fuentes de energía dando origen a lo que hoy día se conoce como **Transición Energética**, la cual está enfocada en encontrar fuentes alternativas de energía que no produzcan GEI, denominadas **Fuentes No Convencionales de Energía Renovable, FNCR**.

Es importante señalar que además de los efectos de cambio climático, la explotación de los combustibles fósiles tiene un impacto negativo muy relevante sobre el medio ambiente en general, lo cual justifica aún más remplazar las fuentes de energía fósiles por energías alternativas que reduzcan en forma significativa los impactos sobre el planeta.

Otro proceso diferente al uso de motores de combustión interna, que produce grandes emisiones de CO₂ es la fabricación de cemento donde la calcinación del CaCO₃ (caliza) lo descompone en CaO (óxido de calcio) y en CO₂.

Según datos de la ONG Green Peace :

- La temperatura media mundial ha aumentado 1.11 °C desde la época preindustrial.
- Las emisiones de GEI a nivel global siguen en aumento, en el 2019 se registró un máximo de 59 Gton de CO₂.
- En octubre de 2022, la concentración de CO₂, medida en el observatorio de Mauna Loa, en Hawai, alcanzo un máximo histórico de 420.99 ppm, concentración que no se registraba desde hace 3 millones de años.

Contribución de Colombia en las emisiones de GEI

De acuerdo al Primer Reporte de Transparencia (BTR) que incluye el inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, para el año 2021 se tiene los siguientes datos:

- Los sectores relacionados con la agricultura, silvicultura, y otros usos de la tierra, son los principales aportantes a los GEI, con una contribución de 55.2%.
- El sector energía aporta el 32.7%
- El sector de residuos aporta el 7.9%.
- Los procesos industriales y uso de productos aporta el 4.2% restante.
- Las emisiones totales del país aumentaron un 33% entre 1990 y el año 2021.
- Las emisiones del sector transporte se incrementaron en 113% entre 1990 y el año 2021, producto principalmente del crecimiento del parque automotor.
- Las emisiones de industrias de energía se incrementaron en 74% en el mismo periodo 1990-2021

Conceptos importantes relacionados con fuentes de Energía

- **Energía.** Hace referencia a la capacidad de realizar un trabajo, en el cual está involucrado una fuerza y un movimiento. Su unidad en el SI es el julio (Newton-Metro). watio-hora=3600 julios.
- **Potencia.** Hace referencia a la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo. Su unidad es el julio/seg = Watio. Existe también la unidad caballo de fuerza HP = 746 watios.
- **Corriente alterna, AC.** Es la corriente eléctrica que varía en el tiempo, la magnitud de variación se expresa ciclos/seg, que se denomina frecuencia eléctrica. Ej, la corriente que alimenta nuestras viviendas.
- **Corriente continua, DC.** Es la corriente eléctrica que permanece constante en el tiempo, ej, la que producen las baterías.
- **Densidad:** Cantidad de masa por unidad de volumen, ej densidad del agua= 1 kg/ litro. 1 ton/m³.
- **Poder Calorífico.** Cantidad de energía producida por unidad de masa o de volumen como resultado de la combustión de una sustancia. Ej, poder calorífico de la gasolina.
- **Densidad de energética.** Cantidad de energía que almacena una sustancia o sistema por unidad de masa o volumen. Muy importante para caracterizar las baterías de vehículos eléctricos.
- **Tasa de retorno energético (TRE o EROEI).** Es la relación entre la cantidad de energía total que es capaz de producir una fuente de energía y la cantidad de energía que es necesario utilizar para explotar ese recurso energético. Un valor de 5 es el referente mínimo para que la explotación energética sea considerada sostenible. La más alta TRE la ha tenido el petróleo USA de 1930, luego a superar el valor de 100, después en los años 1970 se situó entre 20 y 28.
 - **TRE = E total fuente/E invertida**
- **Tiempo de recuperación energética.** Es el tiempo que tarda el sistema de energía renovable en generar la misma cantidad de energía que se invirtió en su creación, mantenimiento y desmantelamiento.
- **Factor de planta o de capacidad FC.** Es la relación entre la energía eléctrica real generada en un periodo determinado y la energía que generaría si la planta operara en forma continua durante ese tiempo. Es un indicador muy importante para medir el efecto de la intermitencia en el caso de las energías renovables no convencionales.
 - **FC = Energía Real generada/Energía Máxima Posible**

Tipos de Fuentes Energía

- **Energías no renovables.** Son aquellas que se encuentran en la naturaleza en cantidades limitadas y se van agotando por el consumo en forma irreversible, su regeneración puede tardar millones de años. En esta categoría sobresalen los combustibles fósiles, estos se formaron hace millones de años a partir de materia orgánica de plantas y animales muertos. En esta categoría está: el petróleo, el carbón, el gas y la energía nuclear.
 - **Carbón.** Es un mineral con alto contenido de carbono (0-90%) y con cantidades variables de otros elementos como hidrógeno, **azufre**, oxígeno y nitrógeno. Tiene un alto **poder calorífico** entre 24 y 30 Mj/Kg, **9.43 Kwhra/Kg**. Es una fuente de energía muy económica.

- Petróleo. Es un aceite mineral de color negro, menos denso que el agua, es una mezcla de hidrocarburos acompañados de **azufre**, oxígeno y nitrógeno. Los principales combustibles derivados son: Gasolina y Diesel-
 - ✓ Gasolina. Es un hidrocarburo derivado por destilación del petróleo. Utilizado principalmente como combustible en vehículos movidos por motores de combustión interna de encendido por chispa. Tiene una densidad de 850 gr/litro, con poder calorífico de 34.78 Mj/litro = **9.7 Kwhr/litro**, un 10% menos que el diésel.
 - ✓ Diesel (ACPM). Es un hidrocarburo líquido con una densidad similar a la de la gasolina, tiene un poder calorífico de 35.86 Mj/litro = 10 Kwhr/litro, = **12 Kwhr/Kg**, se usa principalmente como combustible en motores de ciclo diésel de encendido por compresión.
- Gas Natural. Es una mezcla de gases de gran poder calorífico, el principal componente es el metano, (97%) tiene otros en pequeñas cantidades como el CO₂, etanol y vapor de agua. Se usa en la industria petroquímica como materia prima y para procesos industriales. En los vehículos se usa como combustible como Gas natural comprimido GNC. Es el más económico y limpio que los combustibles líquidos, genera menos gases de efecto invernadero y menos contaminantes que otros combustibles fósiles como el carbón; tiene un poder calorífico que varía entre 47.7 a 52.7 Mj/m³ = 11.7 Kwhr/m³ = 32 a 45 Mj/kg= **12.5 Kwhr/Kg**

➤ **Energías renovables.** Proviene de recursos naturales que no se agotan con su uso

- ✓ Energía hidroeléctrica. Fuente natural agua para mover turbinas que acopladas a generadores producen electricidad. Es una fuente de energía renovable convencional, existe desde hace mucho tiempo, siglo XVIII.
 - ✓ Energía solar fotovoltaica. Transforma la energía solar en electricidad.
 - ✓ Energía Eólica. Utiliza la fuerza del viento para mover generadores
 - ✓ Energía geotérmica. Utiliza el calor del interior de la tierra.
 - ✓ Biomasa y biogás. Energía obtenida de materia orgánica.
- Energía de hidrógeno. Utiliza el hidrógeno como vector para almacenar y transportar energía. **No es una fuente primaria**, la produce a partir de otras materias primas, como el agua, gas natural, biomasa. El proceso principal de producción de hidrógeno es el de **electrólisis** del agua. Cuando el hidrógeno es producido por fuentes renovables de energía se puede considerar como una energía renovable.

Datos característicos de algunas tecnologías de energías renovables no convencionales

❖ **Energía fotovoltaica.**

Es una fuente de energía renovable que convierte la energía radiante del sol directamente en electricidad, mediante tecnofactos llamados paneles solares, Esta conversión se basa en el efecto fotovoltaico, donde los fotones de la luz solar excitan los electrones de un material semiconductor generándose de esta forma una corriente eléctrica DC.

Las características más importantes son las siguientes:

- La eficiencia promedio actual está entre el 25 y el 28 %, es decir, que de la radiación solar que recibe el panel fotovoltaico aproximadamente un 75% no se puede convertir en energía eléctrica, la limitante está en los materiales y en la tecnología de fabricación de los paneles; las celdas fotovoltaicas tienen un límite teórico de eficiencia del orden del 32%. Si se tiene como referencia que la irradiancia solar típica es del orden 1000W/m², un panel solar de 1 m² solo produciría del orden de 250 vatios de potencia en condiciones óptimas de localización y de radiación solar.
- La eficiencia de un panel solar se reduce con el aumento de la temperatura del panel. La temperatura óptima es del orden de 25 °C, al incrementarse la temperatura se reduce el voltaje de salida del panel lo que genera una disminución de la potencia y la eficiencia general. Las otras variables que influyen en la producción de energía fotovoltaica son la radiación solar, la inclinación y la orientación de los paneles.
- El rendimiento por área también es bajo, un panel de 1 m² puede producir aproximadamente un promedio de 200 vatios. Esto significa que para disponer de una capacidad de 3 Kw pico de potencia, típico de una vivienda unifamiliar, se necesitaría instalar mínimo 15 m² de paneles solares recibiendo una irradiancia de 1000 w/m².
- La presencia de polvo y suciedad sobre los paneles reduce la eficiencia de conversión de energía, estos al bloquear la luz solar y reduce la energía incidente en el panel
- Como la generación fotovoltaica es de corriente continua (DC) para poderla aprovechar a nivel residencial e industrial se requiere convertirla en corriente alterna mediante equipos llamados **inversores**, los cuales encarecen la instalación.
- La tasa de retorno energético de los paneles solares está aproximadamente entre 10 y 25, dependiendo de las condiciones reales de la instalación fotovoltaica y de los criterios que se seleccionen para calcular la energía invertida en la producción de las plantas solares. Hay algunos autores que consideran que la energía fotovoltaica tiene un valor menor a 1 cuando las instalaciones fotovoltaicas están localizadas en zonas templada, es decir que esas instalaciones en lugar de ser fuentes de energía serían sumideros de energía, es decir consumidores.
- El factor de planta es bajo, puede variar entre valores del 10% y el 30%.
- Una instalación de energía fotovoltaica llega a tener las siguientes relaciones de peso: un módulo fotovoltaico tiene un peso de 16 Kg/m², el inversor y el resto del sistema tiene un peso 25Kg/m², sin incluir el peso del hormigón.
- En la fabricación de paneles fotovoltaicos, implica el uso de varios productos químicos potencialmente peligrosos: Trifluoruro de Nitrógeno (NF₃), es un gas que tiene un potencialmente de calentamiento global aproximadamente de 16.600= veces superior al CO₂, hay otros dos gases de efecto invernadero igualmente perjudiciales que son el Hexafluoroetano (C₂F₆) y el Hexafluoruro de azufre (SF₆).
- La Producción de silicio de grado solar para un m² de panel requiere de 3.5 kg de HCL, ácido clorhídrico, concentrado.

❖ Energía Eólica.

Es una fuente de energía renovable, que se obtiene a partir de la energía cinética del viento, la cual es convertida en energía mecánica rotativa por medio de una turbina eólica la cual está acoplada por medio de una caja de engranajes amplificadora de velocidad a un generador eléctrico llamado aerogeneradores. La energía eólica es proporcional al cubo de

la velocidad del viento, esto quiere decir que si la velocidad del viento se duplica, la potencia disponible en la turbina se incrementaría en 8 veces, esta relación es muy importante porque significa que pequeñas variaciones en la velocidad del viento producen variaciones significativas en la producción de energía. La otra variable que tiene una incidencia significativa en la cantidad de energía que se puede obtener en una turbina eólica, es la relacionada con la longitud de las aspas, a mayor longitud se incrementa en forma significativa la energía producida, estas dos variables, la velocidad del viento y la longitud de las aspas, condicionan tanto el tamaño como la localización de las turbinas eólicas, por esta razón para mejorar el rendimiento las turbinas deben ser de gran tamaño y deben estar ubicadas en zonas donde la velocidad del viento es alta.

Las características más importantes de la energía eólica son las siguientes:

- La energía eléctrica generada es de corriente alterna (AC).
- La generación de energía es intermitente y variable, esta característica hace más compleja la interconexión a las redes eléctricas de transmisión o distribución existentes
- El rendimiento de los sistemas eólicos es dependiente de la altura de instalación de las turbinas.
- Las instalaciones de energía eólica requieren de una gran inversión inicial, lo cual podría tener un impacto significativo en su rentabilidad.
- Las instalaciones requieren de grandes espacios, lo cual determina la densidad de potencia eólica, para alturas del orden de 50 metros, esta puede variar entre 200 vatios por m² para velocidades de viento del orden de 5.6 m/seg y 2000 vatios por m² para velocidades de viento del orden 11.9 m/seg.
- La energía eólica puede tener impactos negativos sobre las poblaciones de aves, como colisiones con las turbinas, alteración de su hábitat natural, interferencia en la migración, lo que puede causar que las aves abandonen sus rutas tradicionales.
- Como la energía eólica tiene una dependencia directa de las corrientes de aire, la decisión del lugar de las instalaciones debe ser muy selectiva para poder garantizar el suministro de energía eléctrica.
- Como la eficiencia de las turbinas eólicas es muy dependiente de la altura de instalación de la turbina y de la longitud de las aspas, estas condiciones requieren de recursos técnicos y tecnológicos costosos, tanto para el montaje como para el mantenimiento se requieren de recursos técnicos y humanos exigentes lo cual les resta competitividad con relación a otras fuentes de energía alternativas.
- La energía eólica se considera una fuente segura y sostenible para generar electricidad porque no presenta riesgos de contaminación radiactiva ni de emisiones tóxicas.
- Como la energía eólica no requiere el uso de combustibles fósiles, se reduce en forma significativa los costos de generación de energía.
- Como las turbinas eólicas son estructuras metálicas y las aspas son de grandes dimensiones, el peso de una turbina es considerable; una turbina típica de 1.5 MW (megavatios) puede llegar a pesar del orden de 164 toneladas, la sola torre puede pesar más de 70 toneladas, una turbina de 3 MW puede llegar a pesar del orden de 331 toneladas, aproximadamente 110,33 Kg/Kw.

- Debido a los materiales que componen las aspas de las turbinas eólicas, su disposición final presenta dificultades y no se ha podido normalizar. Los materiales que predominan son la fibra de vidrio y fibra de carbono impregnadas con resina epoxi, es la matriz que une las fibras. Estos materiales hacen que el reciclaje sea complejo, se están explorando métodos de reutilización; por estas dificultades la disposición final de las aspas se está haciendo en vertederos.
- La tasa de retorno energético de la energía eólica presenta altos valores en comparación con otras energías alternativas, el promedio se sitúa en 18, pero en algunos casos puede superar el valor de 30; esta tasa puede reducirse en forma apreciable cuando las instalaciones eólicas requieren sistemas de respaldo, como baterías, para compensar la intermitencia de su generación.
- El factor de planta puede variar entre los valores de 20% y el 40%.
- La eficiencia de las turbinas eólicas es del orden entre 40 y 50 %, esto significa que pueden convertir en energía eléctrica solo entre el 40 y 50 % de la energía cinética del viento. Las turbinas eólicas tienen un límite teórico de eficiencia de 59%, establecido por la ley de Betz, la cual se deriva de los principios de conservación de masa y momento para un modelo de aerogenerador ideal. Esta ley implica que como el viento debe seguir fluyendo, una buena parte de su energía cinética no se puede aprovechar para transformarla en energía mecánica sobre el eje de la turbina.
- Como las cajas de engranajes de las turbinas eólicas son uno de los componentes de mayor probabilidad de fallas, actualmente se están desarrollando turbinas eólicas de acople directo, sin caja de engranajes, para mejorar la confiabilidad, esta nueva modalidad tecnológica implica que el generador eléctrico gire a bajas revoluciones, condición que obliga a diseñar generadores con mayor número de polos magnéticos para obtener la misma frecuencia de generación eléctrica, este nuevo diseño de generador incrementa el peso del sistema, pero se estima que la confiabilidad del sistema mejore en forma significativa y se reduzcan los costos de mantenimiento con miras a incrementar tanto la tasa de retorno energético como la tasa de retorno económico.

❖ Hidrógeno H

El hidrógeno es el elemento químico más simple, está formado por solo un protón y un electrón, su núcleo no tiene ningún neutrón, es el elemento más abundante en el universo, Se encuentra principalmente en forma de gas hidrógeno H_2 en las estrellas y en los planetas gaseosos, además aparece unido a otros elementos formando compuestos como el agua H_2O y en la mayoría de compuestos orgánicos como los hidrocarburos.

El gas hidrógeno en condiciones normales de temperatura y presión es incoloro, inodoro, no tóxico e inflamable. Tiene un punto de ebullición de $-252,7^\circ C$ y un punto de fusión de $-259,13^\circ C$, puede reaccionar con el oxígeno O_2 desprendiendo energía y formando agua. En esta reacción de combustión el hidrógeno es el combustible.

El hidrógeno a diferencia de los combustibles fósiles, no se encuentra en estado libre en nuestro planeta, por tal razón el hidrógeno no es considerado como una fuente primaria de energía, como si lo son los combustibles fósiles, este elemento se considera como un medio para transportar energía, por lo que se le denomina como vector energético.

Para usar el hidrogeno para producir energía se debe separar de los compuestos que lo contienen, el proceso más utilizado es extraerlo del agua mediante un proceso de separación usando electricidad llamado **Electrólisis**.

Entre las principales características del hidrógeno como alternativa energética están las siguientes:

- ✓ El poder calorífico es de 33,3 KW-hr/Kg, tres veces mayor al del gas natural.
- ✓ En el proceso de electrólisis para producir hidrogeno por separación de la molécula del agua, se requiere aproximadamente de 50 a 60 KW-hora de energía eléctrica para obtener un Kg de hidrogeno. Cuando la energía eléctrica utilizada proviene de fuentes renovables, a este hidrogeno producido se le llama **Hidrogeno Verde**, caracterizado por haberse obtenido en proceso sin emisiones de GEI. Este tipo de hidrogeno es el que se podría constituir como una alternativa energética que ayude a sustituir los combustibles fósiles.
- ✓ Tiene una baja densidad energética por unidad de volumen, por tal motivo se requieren métodos avanzados para su almacenamiento que encarecen su uso.
- ✓ Se puede almacenar como gas a presión comprimiéndolo a una presión de 200 atmosferas equivalentes a 2940 psi (libras/pulg²), en la compresión se consume aproximadamente 3 Kw-hra/Kg. Como la presión es muy alta, los recipientes para estas condiciones de almacenamiento requieren estándares altos de resistencia mecánica.
- ✓ Otra forma de almacenarlo es en estado líquido, para obtener esta condición se debe enfriar – 293Gr C. El consumo energético para licuar el H₂ es muy grande, se requiere de 13,3 Kw-hra/Kg de H₂. En esta condición se incrementa la densidad energética pero se reduce la tasa de retorno energético.
- ✓ La simplicidad atómica del hidrogeno le permite penetrar en materiales solidos como el acero, el hidrogeno se difunde en la microestructura causando un efecto llamado fragilización por hidrogeno, este fenómeno puede generar grietas que podrían terminar en fractura de la estructura metálica. Este fenómeno dificulta tanto el almacenamiento como el transporte del hidrogeno, donde el uso de aceros de alta resistencia es obligado, esta es una de las razones que limitan en gran medida el uso masivo de este gas energético.
- ✓ Otro problema relacionado con la simplicidad atómica es la facilidad de fugas en recipientes debido a su reducido tamaño molecular y baja viscosidad, esta condición exige métodos exigentes para mantener la estanqueidad de los recipientes y ductos de transporte, esta es otra de las características que han limitado el uso masivo de este gas.
- ✓ Actualmente se vienen haciendo estudios sobre los efectos de las fugas de hidrogeno, algunos científicos consideran, que si solo un 10% se fuga durante la producción, transporte, almacenamiento o uso, los beneficios de usar hidrogeno verde desaparecen. La reacción del hidrogeno con radicales hidroxilo, puede ralentizar la eliminación del metano en la atmosfera, esto produce un aumento de la concentración de metano incrementando el calentamiento global.
- ✓ La aplicación más conveniente del hidrogeno obtenido por electrolisis es usarlo como combustible y para la generación de energía térmica.
- ✓ El hidrogeno gaseoso puede hacer auto ignición entre 536 y 585 Gr.C.
- ✓ La velocidad de propagación de la llama es diez veces mayor que la del gas natural.
- ✓ En la combustión del hidrogeno utilizando como comburente aire atmosférico hay presencia de nitrógeno el cual reacciona con el hidrogeno produciendo óxidos de

nitrógeno, NOx, los cuales son altamente perjudiciales para la salud humana y contribuyen al calentamiento global.

Aspectos concluyentes de las energías FERNC

Estas energías carecen de muchas de las características indeseables de los combustibles fósiles, incluida la producción directa de CO2 y otros contaminantes, pero también carecen de muchas características altamente deseables de los combustibles fósiles.

- ✓ No poseen suficientes densidades energéticas
- ✓ Tienden a ser intermitentes
- ✓ Deficiente transportabilidad
- ✓ Tienen bajas tasas de retorno energético.
- ✓ Las energías renovables no convencionales dependen todavía mucho de los combustibles fósiles para la fabricación de sus infraestructuras, algunos autores opinan que esta dependencia es la que les ha permitido ser competitivas en la actualidad.
- ✓ Carecen de infraestructura necesaria para satisfacer las necesidades sociales, ej estaciones de carga para vehículos eléctricos.
- ✓ Las fuentes alternativas no convencionales no son sincrónicas, esto significa que la electricidad generada no tiene una correspondencia temporal perfecta con relación a la generación eléctrica convencional, esta condición hace más compleja su interconexión con las redes eléctricas existentes y pueden causar inestabilidad en la mismas
- ✓ Las tecnologías involucradas presentan todavía bajas eficiencia, ej, los paneles solares, los procesos de producción de hidrógeno.
- ✓ La escasez de materiales para la fabricación de instrumentos tecnológicos, como el cobre, plata litio, níquel, materiales de tierras raras, pueden limitar su desarrollo y expansión.
- ✓ Para la sustitución de energías no renovables por renovables, se requiere el uso de tecnología de alto consumo energético para su construcción y mantenimiento. Esto conllevaría una disminución tanto de la cantidad como en el valor de retorno energético de las principales energías que se utilizarían en las actividades económicas.
- ✓ Independiente de las debilidades inherentes a las características de las FERNC, estas constituyen una alternativa válida para reducir el consumo de combustibles fósiles, lo cual impacta positivamente en la problemática del calentamiento global y su consecuencia directa en el cambio climático que está experimentando nuestro planeta.

Movilidad eléctrica

Según datos de la Agencia Internacional de energía, el sector transporte genera más de la tercera parte de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo, esta realidad ha impulsado la investigación y el desarrollo de tecnologías encaminadas a sustituir el transporte basado en combustibles fósiles por un transporte accionado por electricidad.

Cuando se habla de movilidad eléctrica se hace referencia al uso de vehículos que utilizan electricidad para alimentar el motor o motores de propulsión. Actualmente hay dos tipos de movilidad eléctrica: la totalmente eléctrica y la híbrida, esta última combina el sistema basado en motor de combustión interna, alimentado con combustibles fósiles, con un sistema basado en motor eléctrico.

El componente principal de un vehículo eléctrico es la **batería**, esta proporciona la energía eléctrica para alimentar los **motores eléctricos** que son los que transforman la potencia eléctrica en potencia mecánica para mover el vehículo. Como los vehículos eléctricos usan motores de **corriente alterna**, el sistema necesita un componente llamado **inversor**, este **transforma** la corriente continua de la batería en corriente alterna variable para alimentar los motores de propulsión. Adicionalmente al sistema eléctrico de potencia, el vehículo requiere de un sistema **electrónico de control** que es el que permite gobernar la conducción en forma similar a la de un vehículo convencional con motor de combustión interna.

La diferencia fundamental entre un vehículo totalmente eléctrico y uno híbrido está en la capacidad energética de la batería, en los híbridos la autonomía de recorrido en modo eléctrico es muy baja, realmente, su sistema de modalidad eléctrica está concebido únicamente para incorporar una reducción en el consumo de combustible, las pruebas de campo han dado resultados de ahorro entre un 10% y 30%, y lógicamente el aporte de reducción de emisiones de CO₂ está en orden. De todas formas los vehículos híbridos son una buena alternativa mientras se superan las limitaciones e ineficiencias energéticas de las baterías de los vehículos totalmente eléctricos.

Baterías para la movilidad eléctrica

Hasta el día de hoy el tipo de batería que se ha consolidado tecnológicamente para mover vehículos totalmente eléctricos es la **batería de iones de litio**.

A nivel general, una batería es un componente que almacena energía eléctrica en forma química, la cual se puede utilizar en forma de una corriente eléctrica, la principal característica de una batería es que después de ser agotada su energía almacenada, esta se puede recuperar o recargar utilizando también una corriente eléctrica suministrada por una fuente externa.

Baterías de iones de Litio

El litio es un metal blando de color blanco plata, se oxida rápidamente en aire o agua, con esta última reacciona en forma violenta, es el metal más ligero, su número atómico es 3, es decir tiene 3 protones en su núcleo y 3 electrones, tiene un solo electrón en su último nivel, lo que le da la característica de oxidarse fácilmente, es decir de perder su electrón más externo, cuando el litio pierde dicho electrón, el átomo queda cargado positivamente, se convierte en lo que se llama un **ion de litio de carga positiva**. El hecho que el Litio pueda ceder fácilmente un electrón es una ventaja para la fabricación de baterías, pero a la vez esa misma característica es la que ha hecho que la fabricación de baterías de litio haya sido una misión difícil y compleja por su alta reactividad.

Una batería de Iones de Litio, tiene los mismos elementos típicos de una batería convencional, solo difiere en los materiales que los componen. En forma general, los elementos básicos de una batería de litio son:

Ánodo. Es el electrodo negativo, en este elemento sucede la reacción de oxidación, normalmente es de un material similar al grafito.

Cátodo. Es el electrodo positivo, puede ser de diversos materiales como fosfato de hierro y litio o níquel, manganeso y cobalto.

Electrolito. Es el fluido conductor que permite que los iones circulen entre los electrodos ánodo-cátodo. Se compone principalmente de disolventes y sales de litio. El electrolito es un constituyente vital de las baterías de Litio, influye directamente en las características de

rendimiento de la batería, Desempeña un papel clave en la **densidad de energía**, la potencia de salida, el ciclo de vida y las **características de seguridad** de la batería.

Separador: es un material aislante que esta entre el ánodo y cátodo para evitar que estos electrodos hagan contacto.

Una batería de litio está compuesta de muchas celdas individuales con valores típicos del orden de 3,2 voltios, las cuales se organizan en circuitos eléctricos serie y paralelo dependiendo del voltaje y capacidad que se necesite obtener de la batería, para incrementar el voltaje las celdas se conectan en serie y para aumentar la capacidad se hacen conexiones en paralelo.

Las especificaciones de una batería de litio se describen con las siguientes características claves:

- **Capacidad.** Indica cuanta energía puede almacenar, se mide en KW-hora, se podría asimilar como a la capacidad del tanque de combustible de un vehículo movido por combustibles fósiles. Actualmente en el comercio se encuentran baterías de 40, 60, y de 77 a 100 KW-hora.
- **Voltaje.** Representa el potencial o la fuerza eléctrica, las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos típicamente pueden estar entre 350 y 800 voltios de DC. Estos valores se consideran de alta tensión en este campo de aplicación.
- **Densidad energética.** Cantidad de energía que almacena la batería por unidad de masa, esta característica tiene una influencia en la eficiencia total del vehículo eléctrico, porque parte de la energía de la batería debe usarla para transportarse en el mismo vehículo.
- **Autonomía WLTP.** Distancia que puede recorrer el vehículo eléctrico de acuerdo a una prueba estandarizada denominada WLTP
- **Potencia máxima de carga en AC.** Potencia eléctrica de la fuente de carga con corriente alterna.
- **Potencia máxima de carga en DC.** Potencia eléctrica de la fuente de carga con corriente continua
- **Tiempo de carga.** Duración en horas del proceso de carga de la batería usando una fuente externa

Tipos de baterías Iones de litio

Los tipos de baterías se clasifican según los materiales que componen el cátodo, a nivel comercial están disponibles los siguientes:

- **Baterías LFP, de fosfato de hierro y litio.** Densidad energética moderada, Excelente vida útil de ciclos de carga, 3000 ciclos; Estabilidad térmica muy alta, resistente al sobrecalentamiento. Su menor densidad energética, se traduce en menor autonomía. Este tipo de batería es la que se está imponiendo actualmente.
- **Baterías NMC, de níquel, manganeso y cobalto.** Densidad energética alta, ciclo de vida aceptable, estabilidad térmica moderada. Su mayor densidad energética le da una mayor autonomía de recorrido, su baja estabilidad térmica, exige una gestión térmica más cuidados.
- **Baterías NCA, de níquel, cobalto aluminio.** Densidad energética muy alta, ciclo de vida aceptable, estabilidad térmica moderada. Su alta densidad energética le da una alta autonomía de recorrido, su baja estabilidad hace que la gestión térmica sea compleja.

- **Baterías d estado sólido, (en desarrollo).** El electrolito es de material sólido, se espera duplicar la densidad energética, incrementar la vida de ciclo, mejorar en forma significativa la estabilidad. No están disponibles a nivel comercial.

Aspectos concluyentes de la movilidad eléctrica

- Las baterías siguen siendo la mayor limitación para masificar la movilidad eléctrica, se puede afirmar que aún no se ha llegado a consolidar una tecnología óptima que permita superar las debilidades tecnológicas de las baterías disponibles hoy en el mercado de los autos eléctricos; su baja capacidad energética, su vulnerabilidad térmica, su costo, las exigencias técnicas de la estaciones de carga, las escasez de materiales claves, entre otros, son retos que deben superarse para llegar a una consolidación de la movilidad totalmente eléctrica.
- La baja capacidad energética de las baterías es una las debilidades más difíciles de superar para competir con los combustibles fósiles, para el caso del diésel y la gasolina, estos combustibles tienen aproximadamente 40 veces más capacidad energética que las baterías de los autos totalmente eléctricos
- El tiempo de carga es una las características más débiles de los autos eléctricos al compararse con el tiempo de tanqueo de un vehículo movido por combustibles fósiles; un auto tipo automóvil, puede llenar el tanque de combustible en un tiempo promedio entre 10 y 20 minutos, un auto eléctrico similar, para obtener una autonomía de 100 Km requiere aproximadamente una energía de 20 KW-hora, cargando la batería en una fuente con una potencia disponible de 5 Kw, necesitaría de un tiempo de carga mínimo de 4 horas.
- Para mejorar los tiempos de carga, los fabricantes proponen la opción de carga rápida, este alternativa requiere que la estación de carga tenga una potencia disponible del orden de 120 Kw para que el tiempo de carga sea del orden de 30 minutos. Esta potencia equivale aproximadamente a la capacidad eléctrica instalada de unas 25 viviendas familiares.
- La otra debilidad importante de los autos totalmente eléctricos, es la relacionada con la estabilidad térmica de las baterías actuales de Iones de litio, los fabricantes han enfrentado esta debilidad con un sistema de control un poco complejo que evita que la temperatura de la batería se incremente a valores con alto riesgo de incendio o explosión. Este riesgo se mantendrá en valores altos hasta tanto no se consolide la tecnología de electrolitos de estado sólido.

Datos relevantes de la energía a nivel mundial

- De toda la energía que se consume solo el 20% corresponde a energía eléctrica, el 80% restante lo aporta principalmente los combustibles fósiles.
- Del 20% de energía eléctrica, el 59% se genera a partir de combustibles fósiles, fuente Agencia internacional de energía, año 2023. El carbón contribuye en la generación eléctrica con el 36% y el gas natural con el 22.6%.
- La explotación de petróleo convencional obtuvo el pico de máxima producción en el año 2005, si se incluye el petróleo no convencional, el pico se obtuvo en el año 2018, con una contribución del 30.9% de la Energía Primaria obtenida.

- Se estima que el pico de producción de gas ocurrirá aproximadamente en el año 2025, este representa el 26.9% de la energía primaria.
- El carbón será el último en llegar al pico de producción, hoy día su producción sigue aumentando, representa el 24.4 de la energía primaria.
- El uranio, utilizado en las plantas nucleares de energía, obtuvo el pico de producción en el 2016, su contribución es del orden de 4.6% de la Energía Primaria. El descenso de este elemento, hace que la energía nuclear no sea una fuente sostenible para sustituir las energías de origen fósil.
- El número de vehículos en circulación para el año 2025 es de aproximadamente 1550 millones, los cuales incluyen autobuses, automóviles y camiones. De esta cantidad, 1200 millones, el 77,4%, de vehículos se mueven con motores de combustión interna alimentados por combustibles fósiles. El resto corresponde a vehículos híbridos y totalmente eléctricos.

Estado actual del sistema de energía en Colombia

Energía Eléctrica. La capacidad total el sistema eléctrico a 31-Mar-2025 fue de 20.858,6 MW = 20, 858 GW. Esta presenta una disminución de 2.38% respecto al cierre de 2024, debido a que 47 plantas equivalentes a 581,4 MW retornaron a estado de pruebas por aplicación de la resolución CREG 148 de 2021.

A 31Mar-2025, el aporte al SIN (Sistema de Interconexión Nacional) es el siguiente:

- **Hidráulica**, 13.221,8 MW, 63,39%
- **Térmica**, **6.289,2 MW, 30,15%**
- **Solar**, 1.37,6 MW, 6.46%

Consumo energético de Colombia

- Entre el 2010 y 2023, el consumo energético de Colombia se incrementó en un 33% paso de 1.149 PJ a 1.528 PJ (petajulios = 10^{15} julios) aproximadamente.
- Los combustibles fósiles siguen teniendo una participación mayoritaria con un promedio estable del 69%, el gas natural y el GLP han alcanzado una participación del 17%.
- Para el año 2023, la electricidad represento del orden de un 16% en el consumo energético final, cifra que es inferior al promedio mundial del 20%.
- Los combustibles líquidos siguen teniendo una alta participación en la matriz energética, debido a la demanda de gasolina para el sector transporte, este sector es el principal consumidor de energía con una contribución de 45%, el consumo de la industria es del orden de 24%, el sector residencial y comercial contribuyen con el 25%
- El 90% de la demanda del sector transporte corresponde con el uso de gasolina motor y diésel (ACPM)
- En el sector industrial, el 53% de la demanda energética corresponde al gas natural y al carbón, este sector utiliza un 19% de energía derivada del bagazo y un 15% corresponde al uso de energía eléctrica.
- En el sector residencial, el 90% del consumo de energía corresponde a gas natural, leña y energía eléctrica.
- En el sector terciario de la economía, Servicios y comercio, el principal consumo energético corresponde a electricidad con un 72%, seguido de gas natural con un 25%.

Aspectos de discusión en la transición energética

1. El aporte tan alto de los combustibles fósiles (del orden del 80%) en la matriz energética mundial, hace que el objetivo de la descarbonización, eliminación de gases de efecto invernadero, no se pueda cumplir en ausencia de un plan serio de reducción del consumo energético actual.
2. La existencia de actividades económicas fundamentales como son: la transportación pesada de mar y tierra; agricultura industrial; aviación; la producción de acero y cemento; la petroquímica, difíciles de hacer sin combustibles fósiles, constituye un gran limitante significativo para avanzar y cumplir los planes de transición energética a nivel mundial. Esta realidad hace que los objetivos de transición energética no sean alcanzables sin el acompañamiento de un plan objetivo de decrecimiento del consumo energético enmarcado dentro una estrategia de cambio de paradigma del crecimiento económico continuo.
3. El modelo de un crecimiento sostenible no es viable, la sostenibilidad está en contradicción con un modelo de crecimiento económico indefinido. El ascenso del fenómeno de cambio climático es muy difícil de detener sin sustituir el modelo actual de crecimiento económico, el cual está ligado al uso creciente y generalizado de combustibles fósiles.
4. La marcada dependencia todavía de las FERNC de los combustibles fósiles, incorpora otro factor que limita el cumplimiento de las metas de la descarbonización del planeta.
5. Las características desfavorables de las FERNC, hacen que estas fuentes no tengan la **capacidad suficiente** para sustituir completamente las energías basadas en combustibles fósiles.
6. Un plan de transición energética involucra dos centros de actuación, uno está relacionado con la **sustitución** de las fuentes de energía de origen fósil existentes, el otro, es el relacionado con la **expansión** del sistema eléctrico para responder a la demanda de energía originada por el crecimiento económico. En el caso de Colombia, no se conoce ningún dato oficial relacionado con la actividad de sustitución de fuentes de energía basada en combustibles fósiles; los datos oficiales conocidos se refieren a la expansión del sistema eléctrico mediante proyectos de energías renovables no convencionales, principalmente de energía fotovoltaica y energía eólica. En el caso de Colombia, el aporte de estas fuentes es de más de tres Gigawatios (3 GW), lo que representa más del 10% de la matriz de energía eléctrica del Sistema de Interconexión Nacional, es importante resaltar que este aporte es solo para la expansión de la capacidad eléctrica del país, es conveniente recordar que la energía eléctrica en Colombia constituye solo el 16% de toda la energía total que se consume, donde el aporte de los combustibles fósiles es significativo, sumado a esta realidad, hay que tener presente que aproximadamente entre el 25% y el 30% de la generación de energía eléctrica en Colombia se produce a partir de combustibles fósiles, principalmente gas y carbón.
7. En el año 2024, según datos del RUNT, Colombia registró un parque automotor total de 19.861.831 a dic-2024. En el primer semestre del 20025 el mercado de vehículos ascendió a 104.947 unidades. Si se congelara el mercado de autos de combustión interna y suponiendo que a partir del año 2026 se iniciara un mercado únicamente de vehículos eléctricos, el tiempo para sustituir por vehículos eléctricos todo el parque automotor existente hoy, sería del orden de 40 años. aproximadamente. Esta estimación es muy optimista, puesto que en la realidad la producción de autos de combustión interna podría continuar mínimo hasta el año 2035, lo cual aumentaría el tiempo de sustitución en forma significativa. En este escenario no se incluyen las motocicletas, que según el RUNT, a dic-2024 ascendían a 12.332.882 unidades. Este escenario

es muy diciente para los objetivos de la descarbonización del país, toda vez que el sector transporte es uno de los que más emisiones de GEI produce.

8. Los proyectos de recuperación y reactivación de la red ferroviaria en Colombia no están alineados con el objetivo estratégico de reducción del consumo de combustibles fósiles, el transporte de carga en tren es muy conveniente por su capacidad, pero dicha reactivación debería contemplar un plan de sustitución de trenes movidos por combustibles fósiles a trenes de tracción completamente eléctricos alimentados por energía del sistema eléctrico nacional.

Conclusión final

La transición energética tiene una realidad muy distinta al discurso político que se está promoviendo actualmente, detrás de ese objetivo estratégico encaminado a salvar el planeta Tierra de las consecuencias nefastas del calentamiento global, hay una realidad mucho más compleja desde el punto de vista técnico, social, económico y de capacidad de recursos energéticos y de materiales, que hacen que la eliminación de las fuentes de energías basadas en combustibles fósiles, sea un camino lleno de incertidumbre, obstáculos y complejidad técnica que difiere en gran medida del camino llano y despejado que nos están vendiendo algunos líderes políticos y gremiales que siguen planteando que un desarrollo sostenible es posible sin renunciar al crecimiento económico continuo, sin renunciar al consumismo actual, forzado por el auge de las nuevas tecnologías que tanto han y están influyendo en los cambios de la dinámica social de la humanidad.

Documento compilado y argumentado por:

José I Pardo Silva

Correo: jotaipardo@gmail.com

Moniquirá, Boyacá, Nov-2025
